

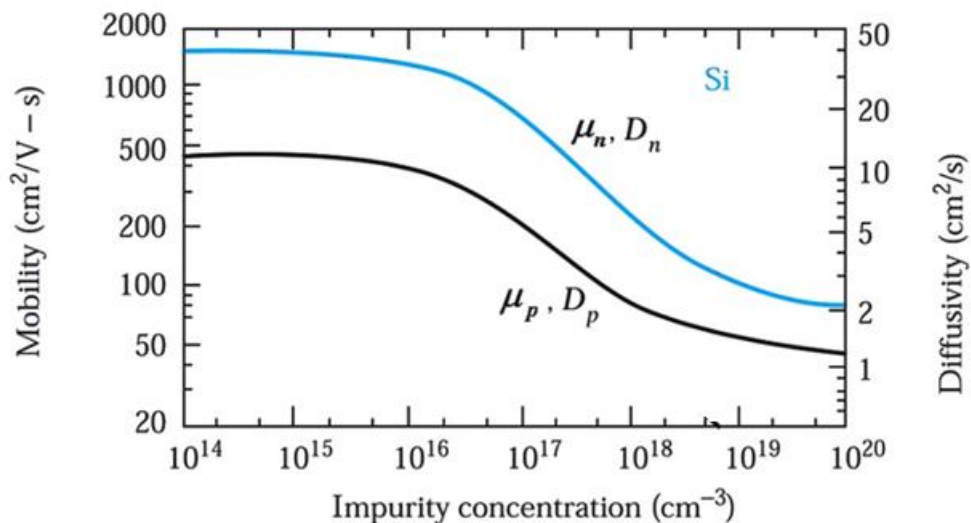
1. Θεωρείστε μονοχρωματική ακτινοβολία μήκους κύματος 500 nm η οποία απορροφάται από το GaAs με αποτελέσμα την διέγερση ενός ηλεκτρονίου από τη ζώνη σθένους στη ζώνη αγωγιμότητας. Να υπολογιστούν η κινητική ενέργεια του ηλεκτρονίου και της οπής. Δίνονται ότι το ενεργειακό χάσμα του GaAs είναι 1.43 eV, η ενεργός μάζα του ηλεκτρονίου $0.068m_0$ και της οπής $0.56m_0$. (Απ. 0.93 eV, 0.12 eV)
2. Σε ένα ημιαγωγό, τα ενεργειακά επίπεδα των δοτών και των αποδεκτών απέχουν μεταξύ τους 0.3 eV. Αν το 80% των αποδεκτών είναι ιονισμένοι στους 300 K, υπολογίστε το ποσοστό των ιονισμένων δοτών. Αν το επίπεδο των δοτών είναι 2kT κάτω από την ζώνη αγωγιμότητας, βρείτε το επίπεδο της ενέργειας Fermi. (Απ. 99.99%, 0.272 eV)
3. Δείγμα GaAs έχει εμπλουτιστεί έτσι ώστε τα ρεύματα ηλεκτρονίων και οπών να είναι ίσα με την εφαρμογή ενός ηλεκτρικού πεδίου. Να υπολογιστούν οι συγκεντρώσεις των ηλεκτρονίων και των οπών καθώς και η ειδική αντίσταση στους 300 K. Δίνονται $\mu_e=8500 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$, $\mu_h=400 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$, $n_i=1.79 \times 10^6 \text{ cm}^{-3}$. (Απ. $8.25 \times 10^6 \text{ cm}^{-3}$, $3.88 \times 10^5 \text{ cm}^{-3}$, $9.5 \times 10^8 \text{ }\Omega\text{cm}$)
4. Δείγμα Ge έχει ενδογενή ειδική αντίσταση $\rho_i=60 \text{ }\Omega\text{cm}$. Υπολογίστε την πυκνότητα ρεύματος όταν εφαρμοστεί ηλεκτρικό πεδίο 10 mV/cm και το δείγμα είναι εμπλουτισμένο με δότες $N_D=10^{13} \text{ cm}^{-3}$ και αποδέκτες $N_A=4 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$. Δίνονται $\mu_n=4200 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ και $\mu_p=2000 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$. Θεωρήστε όλες τις προσμίξεις ιονισμένες. (Απ. $1.79 \times 10^{-4} \text{ A/cm}^2$)
5. Θεωρώντας όλες τις προσμίξεις ιονισμένες, υπολογίστε πόσα γραμμάρια βορίου πρέπει να προσθέσετε σε 1 kg Ge προκειμένου η ειδική του αντίσταση να γίνει $0.2 \text{ }\Omega\text{cm}$. Δίνεται η ευκινησία των οπών στο γερμάνιο $\mu_p=1250 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$. (Ανατρέξτε στο διαδίκτυο για να βρείτε ότι παραμέτρους χρειάζεστε) (Απ. $8.45 \times 10^{-5} \text{ gr}$)
6. Θεωρήστε ότι οι ευκινησίες μ_p και μ_n είναι ανεξάρτητες της συγκέντρωσης των προσμίξεων, υπολογίστε τις μέγιστες τιμές της ειδικής αντίστασης στο Si και GaAs στους 300 K. Δίνονται οι ευκινησίες για το Si $\mu_p=480 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ και $\mu_n=1350 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$, για το GaAs $\mu_p=400 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ και $\mu_n=8500 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$. (Απ. $2.6 \times 10^5 \text{ }\Omega\text{cm}$ για Si και $9.47 \times 10^8 \text{ }\Omega\text{cm}$ για GaAs)
7. Η ειδική αντίσταση ρ ενός δείγματος Ge μετριέται στους 300 K. Λιώνουμε το δείγμα και προσθέτουμε προσμίξεις αρσενικού $4.4 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$. Αναπτύξαμε έτσι ένα νέο κρύσταλλο Ge με ειδική αντίσταση $0.1 \text{ }\Omega\text{cm}$ και είναι τύπου n. Βρείτε τον τύπο του αρχικού δείγματος τη συγκέντρωση των προσμίξεων καθώς και το ρ στο αρχικό δείγμα (Απ. $2.3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ (βρείτε τον τύπο) και $\rho=0.18 \text{ }\Omega\text{cm}$)
8. Θεωρήστε δείγμα GaAs πάχους $0.5 \text{ }\mu\text{m}$ και επιφάνειας 1 cm^2 στους 300 K. Το δείγμα φωτίζεται ομοιογενώς με φωτόνια ενέργειας $h\nu=2.1 \text{ eV}$. Ο συντελεστής απορρόφησης στο μήκος κύματος που αντιστοιχεί σε αυτά τα φωτόνια είναι $\alpha=4 \times 10^4 \text{ cm}^{-1}$. Η ισχύς της προσπίπτουσας ακτινοβολίας είναι 12 mW. α) Να υπολογιστεί η ισχύς που απορροφάται από το δείγμα. β) υπολογίστε την ισχύ που μεταφέρεται

από τα επιπλέον ηλεκτρόνια που δημιουργούνται στο πλέγμα πριν την επανασύνδεση, γ) υπολογίστε τον αριθμό των φωτονίων ανά δευτερόλεπτο που προσπίπτουν στο δείγμα και τον αριθμό των φωτονίων ανά δευτερόλεπτο που εκπέμπονται από την επανασύνδεση των ζευγών ηλεκτρονίων-οπών. Δίνεται το ενεργειακό χάσμα 1.43 eV. (Απ. α) 10.376 mW, β) 3.31 m, γ) 3.57×10^{16} φωτόνια/s και 3.09×10^{16} φωτόνια/s)

9. Δείγμα Ge τύπου p ειδικής αντίστασης 40 Ωcm στους 300 K φωτίζεται ομοιόμορφα με φως που δημιουργεί 10^{13} επιπλέον ζεύγη ηλεκτρονίων-οπών ανά cm^3 και ανά sec. Στην κατάσταση ισορροπίας, υπολογίστε την μεταβολή στην ειδική αντίσταση του δείγματος η οποία οφείλεται στο φως. Αν το φως σβηστεί τη χρονική στιγμή $t=0$, να υπολογιστεί ο χρόνος που απαιτείται για την φωτοαγωγιμότητα να πέσει στο 10% της τιμής της για $t=0$. Υποθέστε ότι ο χρόνος ζωής των φορέων μειονότητας $\tau_n=10^{-6}$ sec. Δίνονται $\mu_n=3900 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$, $\mu_p=1900 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$. (Απ. $1.078 \times 10^8 \text{ Ωcm}$, $2.3 \times 10^{-6} \text{ s}$)
10. Δείγμα πυριτίου έχει συγκέντρωση δοτών 10^{15} cm^{-3} . Υπολογίστε τις συγκεντρώσεις των επιπλέον ηλεκτρονίων και οπών που χρειάζονται για να αυξηθεί η αγωγιμότητα κατά 15%. Υπολογίστε το ρυθμό δημιουργίας που χρειάζεται να διατηρήσει την ευκέντρωση αυτή των επιπλέον φορέων. Θεωρήστε $\mu_p=0.3\mu_n$, $\tau_p=10^{-6} \text{ s}$ και $T=300 \text{ K}$. (Απ. $1.15 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$, $1.15 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}/\text{s}$)
11. Δείγμα πυριτίου τύπου n έχει ειδική αντίσταση υπό σκότος 1KΩ στους 300 K. Το δείγμα φωτίζεται ομοιόμορφα και δημιουργεί 10^{21} ζεύγη ηλεκτρονίων-οπών ανά cm^{-3} και ανά sec. Ο χρόνος ζωής των οπών είναι 1μsec. Υπολογίστε την ειδική αντίσταση του δείγματος καθώς και την ποσοστιαία μεταβολή στην αγωγιμότητα μετά την ακτινοβόληση εξαιτίας των φορέων πλειονότητας και μειονότητας. ($\mu_n=1350 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{sec}^{-1}$, $\mu_p=480 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{sec}^{-1}$) (Απ. 3.41 Ωcm, 2.8×10^4 επί τοις 100).
12. (α) Υπολογίστε την πυκνότητα του GaAs (η πλεγματική σταθερά του GaAs είναι 5.65 Å και τα ατομικά βάρη του Ga και του As είναι 69.72 και 74.92 g/mol, αντίστοιχα). (β) Δείγμα αρσενικού γαλλίου εμπλουτίζεται με κασσίτερο (Sn). Αν ο κασσίτερος αντικαθιστά άτομα γαλλίου στο κρυσταλλικό πλέγμα, τότε ο κασσίτερος δρα ως δότης ή ως αποδέκτης και γιατί; Ο ημιαγωγός τότε είναι n ή p τύπου; Απ. α) 5,33 g/cm³
13. Δείγμα πυριτίου στους $T=300 \text{ K}$ έχει προσμίξεις αποδεκτών $N_A = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$. Υπολογίστε τη συγκέντρωση των προσμίξεων δοτών N_D τα οποία πρέπει να προστεθούν ώστε το πυρίτιο να γίνει τύπου n με την ενέργεια Fermi 0.25 eV κάτω από τη ζώνη αγωγιμότητας. Απ. $2,26 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$
14. Δείγμα πυριτίου έχει εμπλουτιστεί με προσμίξεις Βορίου συγκέντρωσης 10^{16} cm^{-3} και προσμίξεις Αρσενικού συγκέντρωσης $8 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$. Υπολογίστε την ενέργεια Fermi σε σχέση με το μέσον του ενεργειακού χάσματος στους 400 K. Δίνονται $n_i = 9.65 \times 10^9 \text{ cm}^{-3}$ στους $T=300 \text{ K}$ και $N_c=2.8 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$, $N_v=1.04 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$. Απ. 0,969 eV
15. Στο πυρίτιο και σε θερμοκρασία δωματίου η συγκέντρωση των ηλεκτρονίων είναι διπλάσια της ενδογενούς συγκέντρωσης. Να υπολογίστε: α) τη συγκέντρωση των

οπών, β) τη συγκέντρωση των δοτών και γ) τη θέση της Fermi σε σχέση με την ενδογενή στάθμη Fermi.

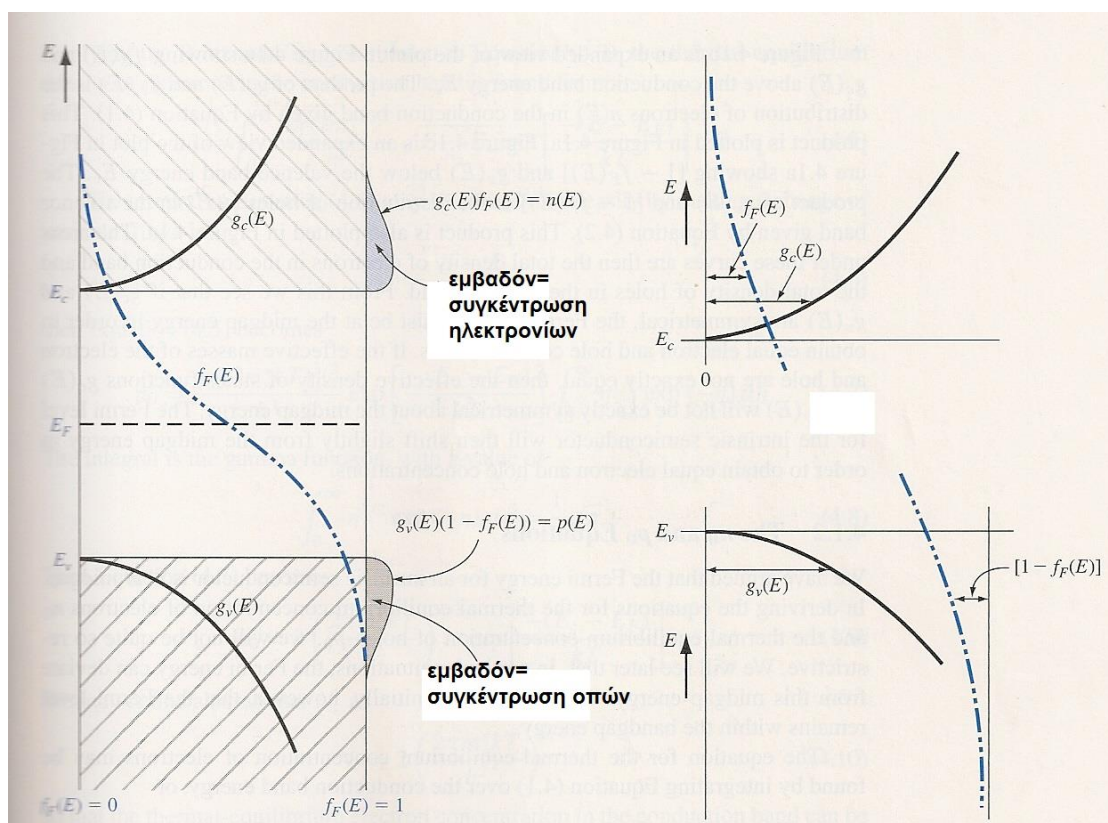
16. Σ' έναν ημιαγωγό τύπου n, που βρίσκεται σε θερμική ισορροπία, η συγκέντρωση των δοτών σε θερμοκρασία 300 K δίνεται από τη σχέση: $N_d(x) = 10^{16} - 10^{19}x$ (cm^{-3}) όπου το x δίνεται σε cm και βρίσκεται στην περιοχή $0 \leq x \leq 1$ μm. Υπολογίστε το ηλεκτρικό πεδίο που δημιουργείται.
17. Δίνεται ότι η ευκινησία των ηλεκτρονίων σ' έναν ημιαγωγό στους 300 K είναι $1000 \text{ cm}^2/\text{Vs}$. Εάν η ενεργός μάζα είναι $0.26 m_0$ να υπολογιστεί η μέση ελεύθερη διαδρομή, ο συντελεστής διάχυσης και η θερμική ταχύτητα. $m_0 = 9.1 \times 10^{-31} \text{ Kg}$. Απ. $\tau = 14,8 \times 10^{-14} \text{ s}$, $v_{\text{θερμική}} = 2,28 \times 10^{17} \text{ cm/s}$,
18. Υποθέστε δύο μηχανισμούς σκέδασης σε έναν ημιαγωγό. Αν υπήρχε μόνο ο πρώτος μηχανισμός η ευκινησία των ηλεκτρονίων θα ήταν $250 \text{ cm}^2/\text{V.s}$. Αν υπήρχε μόνο ο δεύτερος μηχανισμός η ευκινησία των ηλεκτρονίων θα ήταν $500 \text{ cm}^2/\text{V.s}$. Υπολογίστε την ευκινησία των ηλεκτρονίων παρουσία και των δύο μηχανισμών σκέδασης. Απ. $\mu = 167 \text{ cm}^2/\text{Vs}$
19. Θεωρήστε ενδογενή ημιαγωγό με τα ακόλουθα δεδομένα: $n_i = 10^{10} \text{ cm}^{-3}$, $N_c = 3 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ and $N_v = 2.5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ και η ενεργός μάζα των ηλεκτρονίων $m_e^* = 9.1 \times 10^{-32} \text{ Kg}$. Υπολογίστε: α) την ενεργό μάζα των οπών στη ζώνη σθένους, β) το ενεργειακό χάσμα του ημιαγωγού, γ) την ενέργεια Fermi σε σχέση με την ζώνη αγωγιμότητας σε eV και δ) την θερμική ταχύτητα των οπών. Απ. α) $8.058 \times 10^{-32} \text{ Kg}$, β) 1.1245 eV , γ) $-0,56228 \text{ eV}$, δ) $3,9 \times 10^5 \text{ m/s}$
20. Υπολογίστε τη συγκέντρωση ηλεκτρονίων και οπών, τις ευκινησίες και τις αντίστοιχες αγωγιμότητες δειγμάτων πυριτίου στους 300 K για τις ακόλουθες συγκεντρώσεις προσμίξεων: α) 5×10^{15} άτομα βορίου/ cm^3 , β) 2×10^{16} άτομα βορίου/ cm^3 και 1.5×10^{16} άτομα αρσενικού/ cm^3 , και γ) 5×10^{15} άτομα βορίου/ cm^3 , 10^{17} άτομα αρσενικού/ cm^3 και 10^{17} άτομα γαλλίου/ cm^3 . Δίνεται $n_i = 1.5 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$. Για τις ευκινησίες χρησιμοποιήστε τον πιο κάτω διάγραμμα.



Διάγραμμα εξάρτησης ευκινησιών για ηλεκτρόνια και οπές στο πυρίτιο στους 300 K.

21. Θεωρήστε ημιαγωγό με σταθερό πηλίκο $\beta = \frac{\mu_n}{\mu_p} > 1$ όπου μ_n και μ_p οι ευκινησίες των ηλεκτρονίων και των οπών, αντίστοιχα. Υπολογίστε τη μέγιστη ειδική αντίσταση ρ_m σαν συνάρτηση της ενδογενούς ειδικής αντίστασης ρ_i και του πηλίκου β . Απ. $\frac{\rho_m}{\rho_i} = \frac{\beta+1}{2\sqrt{\beta}}$
22. Θεωρήστε ημιαγωγό τύπου n πάχους L και ο οποίος είναι ανομοιομόρφα εμπλουτισμένος με προσμίξεις δοτών φωσφόρου με συγκέντρωση: $N_D(x) = N_0 + (N_L - N_0)(x/L)$. Υπολογίστε το ηλεκτρικό πεδίο $E(x)$ σε βάθος x από την πάνω επιφάνεια θεωρώντας ότι η ευκινησία και ο συντελεστής διάχυσης δεν μεταβάλλονται. Υπολογίστε τη διαφορά ηλεκτρικού δυναμικού V μεταξύ της πάνω και κάτω επιφάνειας του ημιαγωγού.
23. Υπολογίστε την πυκνότητα ρεύματος διάχυσης σε ένα δείγμα πυριτίου εάν η συγκέντρωση των ηλεκτρονίων στο $x=0$ είναι 10^{16} cm^{-3} και πέφτει στο μηδέν σε απόσταση $x=1 \text{ }\mu\text{m}$. Να υπολογιστεί το ηλεκτρικό πεδίο που απαιτείται για να δημιουργήσει το ίδιο ρεύμα σε έναν άλλο δείγμα πυριτίου n τύπου ομοιογενώς εμπλουτισμένου με δότες συγκέντρωσης $N_D = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$. Δίνεται ότι η ευκινησία των ηλεκτρονίων στο πυρίτιο είναι $\mu=1500 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ στους 300 K. Απ. α) 621 A/cm^2 , β) $E=258,75 \text{ V/cm}$
24. Υποθέστε ότι ένα ηλεκτρόνιο στη ζώνη αγωγιμότητας σε δείγμα πυριτίου ευκινησίας $\mu_n=1350 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ έχει αποκτήσει κινητική ενέργεια σε θερμοκρασία $T=300 \text{ K}$. Το ηλεκτρόνιο αυτό τοποθετείται μέσα σε ηλεκτρικό πεδίο 100 V/cm . Το ίδιο ηλεκτρόνιο τοποθετείται σε ηλεκτρικό πεδίο 10^4 V/cm και θεωρήστε την ίδια τιμή για την ευκινησία του ηλεκτρονίου. Συγκρίνετε την θερμική ταχύτητα με την ταχύτητα ολίσθησης στις δύο περιπτώσεις. Τι συμπέρασμα μπορεί να εξαχθεί σχετικά με τη γραμμικότητα της ταχύτητας του ηλεκτρονίου με το εφαρμοζόμενο ηλεκτρικό πεδίο στις δύο περιπτώσεις; Απ. $v_{\text{θερμική}} = 9,5 \times 10^6 \text{ m/s}$, συγκρίνεται στις δυο περιπτώσεις με την ταχύτητα ολίσθησης.
25. Α) Το γινόμενο $g_c(E)f_F(E)$ που αφορά τη ζώνη αγωγιμότητας είναι συνάρτηση της ενέργειας όπως φαίνεται στο πιο κάτω διάγραμμα. Θεωρώντας ότι η πιθανότητα κατάληψης μπορεί να προσεγγιστεί από την κατανομή Maxwell-Boltzmann βρείτε την ενέργεια σε σχέση με την E_c στην οποία το παραπάνω γινόμενο παρουσιάζει τη μέγιστη τιμή του. Β) Επαναλάβετε το παραπάνω για το γινόμενο $g_v(E)[1-f_F(E)]$ στη ζώνη σθένους.

Απάντηση: Α) $E=E_c+KT/2$, Β) $E=E_v-KT/2$



26. Δύο ημιαγωγοί A και B έχουν τις ίδιες ιδιότητες εκτός από το ότι το ενεργειακό χάσμα του A είναι 1,0 eV και του B 1,2 eV . Υπολογίστε το πηλίκο της ενδογενούς συγκέντρωσης n_i του A ως προς το B στους $T=300$ K.

Απάντηση: 47.5

27. Α) Δικαιολογείστε την θέση που καταλαμβάνουν οι δότες στο ενεργειακό χάσμα του Si .
 Β) Να Κάνετε το ίδιο και για το GaAs. (υπόδειξη: Υπολογίστε την ενέργεια ιονισμού, καθώς και την απόσταση του ηλεκτρονίου του δότη από το δότη μέσα στους δύο κρυστάλλους στις αντίστοιχες περιπτώσεις. Συγκρίνετε την ενέργεια ιονισμού με το ενεργειακό χάσμα καθώς και την απόσταση του δότη από τον δότη με την πλεγματική σταθερά του κρυστάλλου στις αντίστοιχες περιπτώσεις-πόσα άτομα περικλείει η ακτίνα της τροχιάς του ηλεκτρονίου;) Δίνονται: $\epsilon_{r, Si}=11,7$ και $\epsilon_{r, GaAs}=13,1$, $m^*_{Si}/m_0=0,26$ και $m^*_{GaAs}/m_0=0,067$, πλεγματική σταθερά Si = 5,43 Å και 5,65 Å.

Απάντηση: Α) για το Si $r=23,9$ Å και $E_{\text{ιονισμού}}=23.5$ meV , Β) για το GaAs $r=104$ Å και $E_{\text{ιονισμού}}=5,3$ meV.

28. Μετρήσαμε πειραματικά σε δείγμα πυριτίου στη θερμοκρασία $T=300$ K τη συγκέντρωση ηλεκτρονίων $n_0=4,5 \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$ και των δοτών $N_d=5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$. Α) Το δείγμα μας είναι τύπου n ή τύπου p; Β) Υπολογίστε τη συγκέντρωση των φορέων πλειοψηφίας και μειονότητας. Γ) Τι είδους προσμίξεων υπάρχουν και ποιες είναι οι αντίστοιχες συγκεντρώσεις; Δ) Υπολογίστε την ενέργεια Fermi E_F σε σχέση με την ενδογενή τιμή E_{Fi} .

Δίνεται $n_i = 1,5 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ για $T = 300 \text{ K}$.

Απάντηση: Α) ..., Β) ..., Γ) ..., Δ) 0.328 eV (η τιμή αυτή είναι απόλυτη τιμή, εσείς θα βρείτε από τις προηγούμενες απαντήσεις σας αν είναι $E_F - E_{Fi} = 0.328 \text{ eV}$ ή $E_{Fi} - E_F = 0.328 \text{ eV}$).

29. Α) Θεωρήστε μια αντίσταση πυριτίου σε σχήμα παραλληλεπίπεδης ράβδου, σε θερμοκρασία $T = 300 \text{ K}$, με τομή εμβαδού $100 \mu\text{m}^2$, μήκους $0,1 \text{ cm}$ και με συγκέντρωση προσμίξεων ατόμων αρσενικού $5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$. Υπολογίστε το ρεύμα κατά μήκος της ράβδου όταν στα άκρα της εφαρμοστεί τάση 5 V . Β) Υπολογίστε την ταχύτητα ολίσθησης των ηλεκτρονίων. Θεωρήστε ότι η ευκινησία των ηλεκτρονίων είναι $\mu_n = 1100 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$

Απάντηση: Α) $0,44 \text{ mA}$, Β) $5,5 \times 10^4 \text{ m/s}$

30. Θεωρήστε ενδογενή ημιαγωγό με ευκινησίες ηλεκτρονίων και οπών $\mu_n = 1000 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ και $\mu_p = 600 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$, αντίστοιχα. Επίσης $N_c = N_v = 10^{19} \text{ cm}^{-3}$. Όλες αυτές οι παράμετροι είναι ανεξάρτητοι της θερμοκρασίας. Η αγωγιμότητα που μετράμε στους $T = 300 \text{ K}$ είναι $\sigma = 10^{-6} (\Omega\cdot\text{cm})^{-1}$. Υπολογίστε την αγωγιμότητα στους $T = 500 \text{ K}$.

Απάντηση: $0,0063 (\Omega\cdot\text{cm})^{-1}$

31. Σ' ένα ημιαγωγό το συνολικό ρεύμα είναι το άθροισμα του ρεύματος ολίσθησης των ηλεκτρονίων και του ρεύματος διάχυσης των οπών. Η συγκέντρωση των ηλεκτρονίων είναι σταθερή και ίση με 10^{16} cm^{-3} , ενώ η συγκέντρωση των οπών μεταβάλλεται με τη θέση x με τον ακόλουθο τρόπο:

$$p(x) = 10^{15} \exp\left(-\frac{x}{L}\right) \text{ cm}^{-3}$$

όπου $L = 12 \mu\text{m}$. Ο συντελεστής διάχυσης των οπών είναι $D_p = 12 \text{ cm}^2/\text{s}$ και η ευκινησία των ηλεκτρονίων $\mu_n = 1000 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$. Η συνολική πυκνότητα ρεύματος είναι $J = 4,8 \text{ A/cm}^2$. Υπολογίστε: α) την πυκνότητα ρεύματος διάχυσης των οπών σαν συνάρτηση της θέσης x , β) την πυκνότητα ρεύματος ολίσθησης των ηλεκτρονίων σαν συνάρτηση του x και γ) το ηλεκτρικό πεδίο σαν συνάρτηση του x .

32. Θεωρήστε έναν ημιαγωγό σε θερμική ισορροπία (μηδενικό ρεύμα). Υποθέστε ότι η συγκέντρωση των δοτών μεταβάλλεται εκθετικά σύμφωνα με την ακόλουθη σχέση:

$$N_d(x) = N_{d0} \exp(-ax)$$

στην περιοχή $0 \leq x \leq \frac{1}{a}$ όπου N_{d0} σταθερά. Α) Υπολογίστε το ηλεκτρικό πεδίο σαν συνάρτηση του x για $0 \leq x \leq \frac{1}{a}$. Β) Υπολογίστε τη διαφορά δυναμικού μεταξύ του $x=0$ και $x=1/a$.

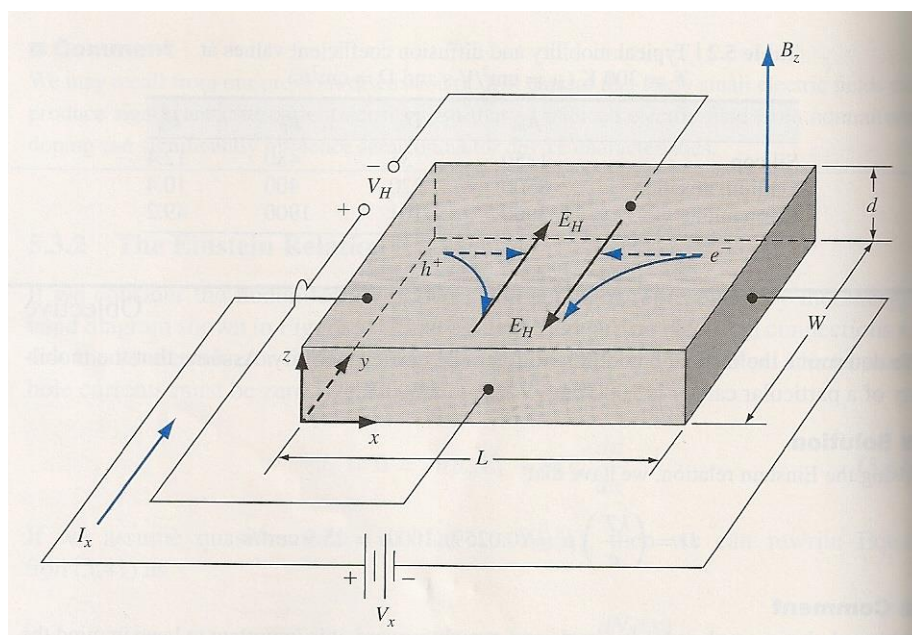
Απάντηση: Α) $\alpha \left(\frac{KT}{e}\right)$, Β) $-\frac{KT}{e}$

33. Δώστε μια σχέση για το προφίλ των προσμίξεων σ' ένα ημιαγωγό στους $T = 300 \text{ K}$ η οποία επάγει ένα ηλεκτρικό πεδίο 1 kV/cm σε μήκος $0.2 \mu\text{m}$.

Απάντηση: $n = A \exp(-ax)$, $\alpha = 3,87 \times 10^4 \text{ cm}^{-1}$

34. Μια διάταξη πυριτίου για μέτρηση Hall στους $T=300\text{ K}$ έχει τη γεωμετρία του σχήματος που ακολουθεί: $d=10^{-3}\text{ cm}$, $W=10^{-2}\text{ cm}$ και $L=10^{-1}\text{ cm}$. Μετρούνται οι παρακάτω παράμετροι στο πείραμα Hall: $I_x=0,75\text{ mA}$, $V_x=15\text{ V}$, $V_H=+5,8\text{ mV}$ και $B_z=0,1\text{ Tesla}$. Α) Τι είδους αγωγιμότητα έχει ο ημιαγωγός τύπου n ή τύπου p ; Β) ποια είναι η συγκέντρωση των φορέων πλειοψηφίας; Γ) Υπολογίστε την ευκινησία των φορέων πλειοψηφίας. Δ) Υπολογίστε την αγωγιμότητα.

Απάντηση: Α).... Β) $8.08 \times 10^{15}\text{ cm}^{-3}$, Γ) $387\text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$, Δ)....



35. Θεωρείστε ημιαγωγό όπου $n_0=10^{15}\text{ cm}^{-3}$. Υποθέστε ότι οι επιπλέον φορείς έχουν χρόνο ζωής $\tau_p=10^{-6}\text{ seconds}$. Βρείτε το ρυθμό επανασύνδεσης των επιπλέον φορέων όταν η συγκέντρωση των επιπλέον φορέων είναι $\delta p=5 \times 10^{13}\text{ cm}^{-3}$.
36. Ένας ημιαγωγός σε θερμική ισορροπία έχει συγκέντρωση οπών $p_0=10^{16}\text{ cm}^{-3}$ και ενδογενή συγκέντρωση $n_i=10^{10}\text{ cm}^{-3}$. Ο χρόνος ζωής των φορέων μειονότητας είναι $2 \times 10^{-7}\text{ seconds}$. α) Υπολογίστε ο ρυθμός επανασύνδεσης ηλεκτρονίων σε θερμική ισορροπία. β) Υπολογίστε τη μεταβολή στο ρυθμό επανασύνδεσης των ηλεκτρονίων αν υπάρχουν επιπλέον φορείς $\delta n=10^{12}\text{ cm}^{-3}$.
37. Φως προσπίπτει σε δείγμα πυριτίου που ξεκινά να φωτίζει για $t=0$ και παράγονται επιπλέον φορείς ομοιόμορφα για $t>0$. Ο ρυθμός δημιουργίας είναι $g'=5 \times 10^{21}\text{ cm}^{-3}\text{ s}^{-1}$. Το πυρίτιο είναι τύπου n με $N_d=5 \times 10^{16}\text{ cm}^{-3}$ και $N_a=0$. Έστω ότι $n_i=1.5 \times 10^{10}\text{ cm}^{-3}$, $\tau_{n0}=10^{-6}\text{ seconds}$ και $\tau_{p0}=10^{-7}\text{ seconds}$, $\mu_n=1000\text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ και $\mu_p=420\text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$. Υπολογίστε την αγωγιμότητα του πυριτίου ως συνάρτηση του χρόνου $t \geq 0$.
38. Ένα δείγμα πυριτίου σε θερμοκρασία $T=300\text{ K}$ είναι τύπου n με $N_d=5 \times 10^{16}\text{ cm}^{-3}$ και $N_a=0$. Το δείγμα έχει μήκος 0.1 cm και διατομή 10^{-4} cm^2 . Μια τάση 5 V εφαρμόζεται μεταξύ των άκρων του δείγματος. Για $t<0$ το δείγμα έχει φωτιστεί με φως παράγοντας επιπλέον φορείς με ρυθμό δημιουργίας $g'=5 \times 10^{21}\text{ cm}^{-3}\text{ s}^{-1}$ ομοιόμορφα.

Η διάρκεια ζωής των φορέων μειονότητας είναι $\tau_{po}=3 \times 10^{-7}$ seconds. Τη στιγμή $t=0$ το φως σβήνει. Βρείτε μια έκφραση για το ρεύμα σαν συνάρτηση του χρόνου t για $t \geq 0$. (αγνοείστε φαινόμενα επιφάνειας). Δίνονται $\mu_n=1350 \text{ cm}^2/\text{V.s}$ και $\mu_p=480 \text{ cm}^2/\text{V.s}$.

39. Θεωρήστε ομογενές αρσενικούχο γάλιο στους $T=300 \text{ K}$ όπου $N_a=10^{16} \text{ cm}^{-3}$ και $N_d=0$. Πηγή φωτός ανάβει τη στιγμή $t=0$ και δημιουργεί ομοιόμορφα φορείς με ρυθμό $g'=10^{20} \text{ cm}^{-3}$. Το ηλεκτρικό πεδίο είναι μηδενικό. (α) Βρείτε την έκφραση για τη συγκέντρωση των επιπλέον φορέων και του ρυθμού επανασύνδεσης σαν συνάρτηση του χρόνου. (β) Εάν η μέγιστη συγκέντρωση των επιπλέον φορέων στην ισορροπία είναι $1 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$, βρείτε τη μέγιστη τιμή του χρόνου ζωής των φορέων μειονότητας. (γ) Βρείτε τους χρόνους για τους οποίους η συγκέντρωση των επιπλέον φορέων είναι: (1) $\frac{3}{4}$, (2) $\frac{1}{2}$ και (3) το $\frac{1}{4}$ της τιμής στην ισορροπία.
40. Ένας ημιαγωγός πυριτίου τύπου n περιέχει προσμίξεις δοτών $N_d=10^{16} \text{ cm}^{-3}$. Ο χρόνος ζωής των φορέων μειονότητας δηλ. των οπών βρίσκεται ότι είναι $\tau_{po}=20 \text{ μs}$. (α) Υπολογίστε το χρόνο ζωής των φορέων πλειονότητας (ηλεκτρόνια). (β) Υπολογίστε το ρυθμό δημιουργίας των ηλεκτρονίων και των οπών στη θερμική ισορροπία. (γ) Υπολογίστε το ρυθμό επανασύνδεσης των ηλεκτρονίων και των οπών στη θερμική ισορροπία. Δίνεται $n_i=1.5 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ στους 300 K .
41. Θεωρήστε ότι ένας ημιαγωγός τύπου n φωτίζεται ομοιόμορφα παράγοντας έναν ομοιόμορφο ρυθμό δημιουργίας επιπλέον φορέων g' . Δείξτε ότι σε μόνιμη κατάσταση η μεταβολή στην αγωγιμότητα του ημιαγωγού δίνεται από:

$$\Delta\sigma = e(\mu_n + \mu_p)\tau_{po}g'$$

42. Ένα δείγμα Ge σε θερμοκρασία $T=300 \text{ K}$ έχει ομοιόμορφη συγκέντρωση δοτών $2 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$. Η διάρκεια ζωής των επιπλέον φορέων βρέθηκε να είναι $\tau_{po}=24 \text{ μs}$. Προσδιορίστε τον συντελεστή αμφιπολικής διάχυσης και την αμφιπολική ευκινησία. Υπολογίστε τη διάρκεια ζωής των ηλεκτρονίων και των οπών. Δίνονται: $\mu_n=3900 \text{ cm}^2/\text{V}$, $\mu_p=1900 \text{ cm}^2/\text{V}$, $D_p=49.2 \text{ cm}^2/\text{s}$, $D_n=101 \text{ cm}^2/\text{V}$, $n_i=2.4 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$
43. Σ' έναν ημιαγωγό πυριτίου σε θερμοκρασία $T=300 \text{ K}$ οι συγκεντρώσεις προσμίξεων είναι $N_d=10^{15} \text{ cm}^{-3}$ και $N_a=0$. Ο ρυθμός επανασύνδεσης είναι $R_{po}=10^{11} \text{ cm}^{-3}\text{s}^{-1}$. Ένας ομοιόμορφος ρυθμός δημιουργίας παράγει μια συγκέντρωση επιπλέον φορέων $\delta n = \delta p = 10^{14} \text{ cm}^{-3}$. (α) Βρείτε την αύξηση του συνολικού ρυθμού επανασύνδεσης. (β) Ποια είναι η διάρκεια ζωής των επιπλέον φορέων;
44. Η συγκέντρωση των επιπλέον οπών σε έναν ημιαγωγό n τύπου ($N_D=10^{17} \text{ cm}^{-3}$) φθίνει γραμμικά από $5 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ στο $x=0$ στο μηδέν στο $x=2 \text{ μm}$. Ο χρόνος ζωής των φορέων μειονότητας είναι 10^{-4} δευτερόλεπτα, η ευκινησία των οπών είναι $640 \text{ cm}^2/\text{V.s}$ και το εμβαδό της διατομής του ημιαγωγού είναι 10^{-4} cm^2 . α) Να υπολογιστεί ο συνολικός αριθμός των επιπλέον οπών και β) ο συνολικός ρυθμός επανασύνδεσης των οπών.

45. Υπολογίστε τη συγκέντρωση ηλεκτρονίων και οπών σε κατάσταση ισορροπίας υπό φωτισμό σε πυρίτιο τύπου n με ρυθμό δημιουργίας $G=10^{16} \text{ cm}^{-3} \text{ s}^{-1}$, $N_D=10^{15} \text{ cm}^{-3}$ και $\tau_n=\tau_p=10 \text{ }\mu\text{s}$